

9. S.V. Syrodoy, N. Yu. Gutareva. R. I. Taburchinov. Influence of Absorption of Thermal Radiation in the Surface Water Film on the Characteristics and Ignition Conditions// MATEC Web of Conferences Volume 72, 9 August 2016, Article number 01109 DOI: 10.1051/mateconf/20167201109
10. S.V. Syrodoy, N. Y. Gutareva. K. A. Bugaeva. Ignition of Wet Wood Particles in the Stream of High-Temperature Gases//MATEC Web of Conferences. Volume 72, 9 August 2016, Article number 01035. DOI: 10.1051/mateconf/20167201035

Научный руководитель: С.В.Сыродой, к.т.н., старший преподаватель каф. ТПТ ЭНИН ТПУ.

## **КОНВЕКТИВНО-РАДИАЦИОННЫЙ ТЕПЛООБМЕН ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОЛОСТИ С ЛОКАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ**

С.А. Михайленко  
Томский государственный университет

Изучение конвективного теплопереноса во вращающихся системах имеет большое значение при решении различных технических проблем, например, при проектировании газовых турбин высокого давления [1] или солнечных концентраторов [2]. Так, в [3] получены результаты численного моделирования конвекции во вращающемся цилиндрическом контейнере, заполненном ртутью, в условиях подогрева снизу. Моделирование конвективного теплопереноса во вращающейся замкнутой полости с локальным источником энергии постоянной температуры проводилось в [4]. Следует отметить, что большинство исследований конвективного теплопереноса во вращающихся системах проводится без учета влияния теплового поверхностного излучения.

Целью настоящей работы является численный анализ режимов естественной конвекции и поверхностного излучения во вращающейся квадратной полости, включающей локальный тепловыделяющий источник. Полость, представленная на рис. 1, заполнена ньютоновской жидкостью и вращается против часовой стрелки с постоянной угловой скоростью  $\omega_0$ . Нижняя и верхняя стенки считаются адиабатическими. На нижней стенке расположен твердый тепловыделяющий источник с постоянным объемным тепловыделением  $Q$ .

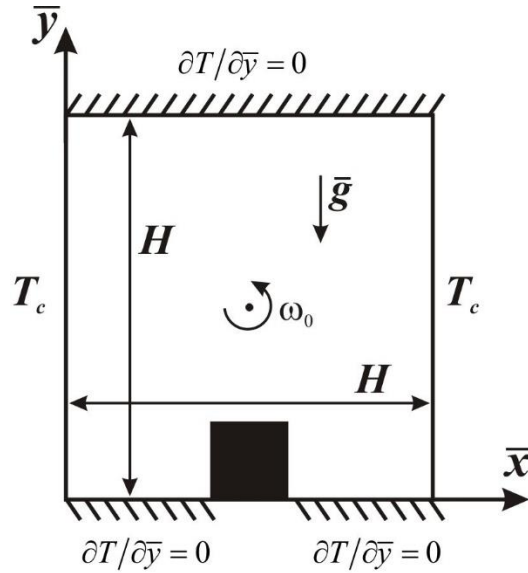


Рис. 1. Область решения задачи

Вертикальные стенки поддерживаются при постоянной температуре  $T_c$ . Все стенки полости считаются диффузно-серыми. Уравнения, сформулированные на основе законов сохранения массы, импульса и энергии, записываются в переменных “функция тока–завихренность” в безразмерном виде [4]:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega \quad (1)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \tau} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = \frac{1}{\sqrt{Ta}} \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) + \frac{Ra}{Pr \cdot Ta} \left[ \frac{\partial \theta}{\partial x} \cos(\tau) - \frac{\partial \theta}{\partial y} \sin(\tau) \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{1}{Pr \cdot \sqrt{Ta}} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{a_{hs}/a}{Pr \cdot \sqrt{Ta}} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + Os \right) \quad (4)$$

Здесь  $Ra$  – число Рэлея,  $Pr$  – число Прандтля,  $Ta$  – число Тейлора,  $Os$  – число Остроградского,  $a_{hs}$  – коэффициент температуропроводности источника,  $a$  – коэффициент температуропроводности среды.

Начальные и граничные условия выглядят следующим образом:

- в начальный момент времени:  $\psi(x, y, 0) = 0$ ,  $\omega(x, y, 0) = 0$ ,  $\theta(x, y, 0) = 0$ ;
- при  $x = 0$  и  $x = 1$ :  $\psi = 0$ ,  $\omega = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$ ,  $\theta = 0$ ;
- при  $y = 0$  (вне источника) и  $y = 1$ :  $\psi = 0$ ,  $\omega = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2}$ ,  $\frac{\partial \theta}{\partial y} = N_{rad} Q_{rad}$ ;

- на источнике энергии:  $\psi = 0$ ,  $\omega = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial n^2}$ ,  $\begin{cases} \theta_{hs} = \theta_f \\ \frac{\lambda_{hs}}{\lambda} \frac{\partial \theta_{hs}}{\partial n} = \frac{\partial \theta_f}{\partial n} - N_{rad} Q_{rad} \end{cases}$ .

Определение плотности радиационного потока  $Q_{rad}$  осуществлялось при помощи метода сальдо. Для решения уравнений (1)-(4) с соответствующими начальными и граничными условиями применялся метод конечных разностей второго порядка точности. Уравнение Пуассона для функции тока (1) решается отдельно с применением метода верхней релаксации. Уравнение дисперсии завихренности (2) и уравнения энергии (3), (4) решаются на основе локально-одномерной схемы Самарского [4, 5] с применением метода прогонки. Разработанный вычислительный код был протестирован на множестве сеток, а также на тестовой задаче, для которой получено удовлетворительное сравнение с данными эксперимента [6, 7].

Численные решения получены для широкого спектра значений определяющих параметров:  $10^4 < Ta < 10^6$ ,  $0.1 < Os < 1.0$ ,  $0.1 < \varepsilon < 0.9$ . Установлены распределения изолиний функции тока и температуры, а также зависимости для среднего радиационного и конвективного чисел Нуссельта на поверхности источника энергии (рис. 2 и 3).

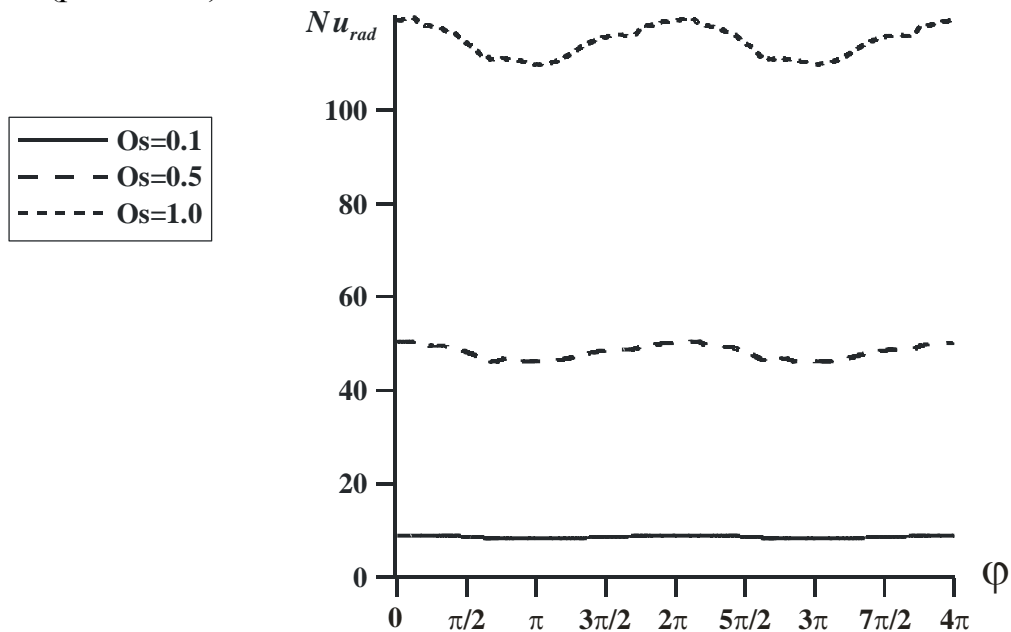


Рис. 2. Зависимость среднего радиационного числа Нуссельта от угла поворота полости и числа Остроградского при  $Ta=10^4$ ,  $\varepsilon=0.3$

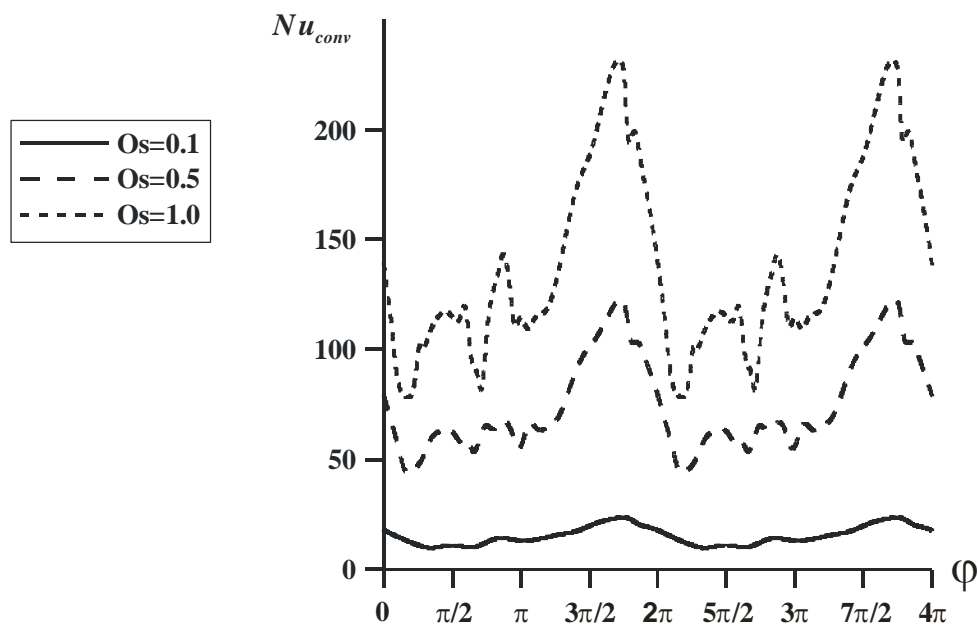


Рис. 3. Зависимость среднего конвективного числа Нуссельта от угла поворота полости и числа Остроградского при  $Ta=10^4$ ,  $\varepsilon=0.3$

На рисунках 2 и 3 изображена зависимость для средних чисел Нуссельта от угла поворота полости после 793 полных оборотов. Можно заметить, что значения в интервалах угла поворота  $\varphi$  от 0 до  $2\pi$  от  $2\pi$  до  $4\pi$  повторяются. Из этого можно сделать вывод о том, что процессы, происходящие в полости, повторяются в пределах каждого последующего оборота и являются периодическими. Так же можно увидеть, что с ростом числа Остроградского происходит рост средних конвективного и радиационного чисел Нуссельта. При этом увеличение  $Os$  вызывает высокоамплитудные изменения  $Nu_{conv}$  в пределах одного оборота.

*Работа выполнена в рамках реализации проекта Российского научного фонда (соглашение № 17-79-20141).*

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Alexiou A., Hills N.J., Long C.A., Turner A.B., Millward J.A. Heat transfer in high-pressure compressor gas turbine internal air systems: a rotating disc-cone cavity with axial throughflow // *Experimental Heat Transfer*.- 2000.- N 13.- P. 299-328.
2. Wu W., Amsbeck L., Buck R., Waibel N., Langner P., Pitz-Paal R. On the influence of rotation on thermal convection in a rotating cavity for solar receiver applications // *Applied Thermal Engineering*.- 2014.- N 70.- P. 694-704.
3. Smirnov S.I., Smirnov E.M., Smirnovsky A.A. Endwall heat transfer effects on the turbulent mercury convection in a rotating cylinder // *St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics*.- 2017.- N 3.- P. 83-94.
4. Михайленко С.А., Шеремет М.А. Моделирование конвективного теплопереноса во вращающейся замкнутой полости с локальным источ-

- ником энергии // Вестник Пермского Университета.- 2017.- N 1.- С. 19-25.
5. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977. – 656 с.
  6. Hamady F.J., Lloyd J.R., Yang K.T., Yang H.Q. A Study of Natural Convection in a Rotating Enclosure // J. Heat Transfer.- 1994.- N 116.- P. 136-143.
  7. Tso C.P., Jin L.F., Tou S.K.W. Numerical Segregation of the Effects of Body Forces in a Rotating, Differentially Heated Enclosure // Numerical Heat Transfer.- 2013.- N 51.- P. 85-107.

Научный руководитель: М.А. Шеремет, д.ф.-м.н., профессор кафедры Теоретической механики ТГУ.

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА НА ТЕКСТУРУ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

К.А. Батищева<sup>1</sup>, Д.В. Феокистов<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ЭНИН, ТПТ, группа 5Б2Б<sup>1</sup>

Экспериментально определено влияние параметров (мощность излучения, частота импульсов, время воздействия луча) иттербиевого импульсного волоконного лазера IPG-Photonics на текстуру поверхности алюминиевого сплава АМГ-6. Установлено, что после одиночного воздействия луча лазера на поверхности образуются кратеры. Получены зависимости геометрических размеров кратера (глубина, диаметр, высота кромки) от параметров лазера. Выявлено, что с увеличением времени лазерного облучения поверхности от 100 нс до 200 нс глубина кратера увеличивается, разность между диаметрами кратера, измеренными в продольном и поперечном разрезах уменьшается. Также установлено, что в условиях облучения поверхности лучом частотой более 60 кГц диаметр кратера не зависит от мощности. При малых частотах до 20 кГц диаметр кратера увеличивается с ростом мощности. Определены параметры иттербиевого импульсного волоконного лазера, обеспечивающие Создание неупорядоченных изотропных текстур на металлической поверхности.

Известно [1,2], что смачивающие свойства твердого тела зависят от текстуры. Модификация последней без обработки реагентами, изменяющими поверхностную энергию (например, перфтороктил-трихлорсилан), позволяет создавать поверхность с контактными углами от 0 до 120 градусов.

Одним из перспективных способов изменения смачивающих свойств металлической поверхности является создание неупорядоченной текстуры лазерным излучением. При таком способе обработки поверхности луч лазера нагревает металл до температуры плавления. Дальнейшее поглощение излучения металлической поверхностью приводит к кипению расплавленного металла. Происходит абляция – металл испаряется с поверхности. В условиях поглощения